

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет електроніки

(назва факультету, інституту)

Кафедра мікроелектроніки

(назва кафедри)

До захисту допущено
Завідувач кафедри

О. В. Борисов

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 20__ р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050801 «Мікро- та наноелектроніка»

(код і назва)

на тему: Регульований освітлювач на основі світлодіодів

Виконав : студент 4 курсу, групи ДП-52

(шифр групи)

Вовк Олександр Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник Надкерничний Степан Петрович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю

(назва розділу)

доц., к.т.н., Орлов А.Т.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з інформаційних питань ст. викл., к.т.н., Діденко Ю.В.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра мікроелектроніки

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050801 «Мікро- та наноелектроніка»

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

групи ДП-52

Вовк Олександр Геннадійович

(група, прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Регульований освітлювач на основі світлодіодів

керівник роботи Надкерничний Степан Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи 04 червня 2019 р.

3. Вихідні дані роботи Перетворювач напруги мережі 220В для регульованого освітлювача.

4. Перелік питань, які мають бути розроблені (зміст роботи)

1. Вивчити особливості структури та будови світлодіодів видимого діапазону.

2. Ознайомлення з типами та схемними реалізаціями перетворювачів напруги для живлення світлодіодних джерел світла. 3. Освоєння методів проектування систем живлення світлодіодів на основі сучасної компонентної бази.

4. Проектування перетворювача напруги з функцією регулювання освітлення

5. Проектування конструкції блока живлення для світлодіодної установки.

6. Монтаж та наладка освітлювальної установки. 7. Проведення досліджень режимів роботи та внесення коректив в схему установки. 8. Обговорення

результатів роботи та написання дипломної роботи.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

1. Структурна схема мікроконтролера, та блок-схема системи управління освітленням. 2. Схеми організації освітлення та алгоритм управління освітленням 3. Принципова схема системи управління освітленням. 4. Креслення монтажною друкованої плати та конструкції перетворювача напруги.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 28 лютого 2019 р.

Календарний план виконання роботи

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вивчення особливості структури та будови світлодіодів видимого діапазону.	28.02.19	
2.	Ознайомлення з типами та схемними реалізаціями перетворювачів напруги для живлення світлодіодів.	14.03.19	
3.	Освоєння методів проектування систем живлення світлодіодних пристроїв на основі мікросхем.	16.04.19	
4.	Проектування схеми перетворювача напруги з функцією регулювання яскравості.	25.04.19	
5.	Розробка конструкції блока живлення для світлодіодної лампи.	21.05.19	
6.	Обговорення результатів робіт та написання дипломної роботи .	30.05.19	

Студент

(підпис)

Вовк О.Г.

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Надкерничний С.П.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота викладена на 50 сторінках, вона містить 4 розділи, 34 ілюстрацій, 1 таблицю та 14 джерел в списку.

Мета роботи – розробка блока живлення для світлодіодної установки з функцією регулювання освітлення.

В першому розділі викладені будова та принцип роботи напівпровідникового світлодіода, його конструкція та основні параметри.

В другому розділі розглянуті типи блоків живлення для світлодіодних установок та їхні схемні реалізації.

В третьому розділі описані варіанти використання потужних світлодіодів, включаючи різні схеми управління їх світловим потоком.

Четвертій розділ присвячений проектуванню блока живлення для світлодіодної установки з функцією регулювання яскравості. Було розраховано номінали та призначення кожного з компонентів схеми.

Ключові слова: СВІТЛОДІОД, БЛОК ЖИВЛЕННЯ, КОРЕКТОР КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ, ДРАЙВЕР, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ, ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНА МОДУЛЯЦІЯ.

ABSTRACT

Thesis is presented in 50 pages, it contains 4 sections, 34 illustrations, 1 table and 14 sources in the list.

The purpose of the work is to develop a power supply unit for an LED unit with a lighting control function.

The first section describes the structure and principle of the semiconductor light-emitting diode, its design and basic parameters.

The second section deals with the types of power supplies for LEDs and their circuit implementations.

The third section describes the options for using powerful LEDs, including different control schemes for their light output.

The fourth section is devoted to the design of a power supply unit for a LED unit with a brightness control function. Nominees and assignment of each of the components of the scheme were calculated.

Keywords: LIGHT-EMITTING DIODE, POWER BLOCK, POWER FACTOR CORRECTOR, DRIVER, ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, PULSE-WIDHT MODULATION.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

БЖ – Блок живлення

ВАХ – Вольт-Амперна характеристика

ВЗ – Валентна зона

ЗЗ – Заборонена зона

ККП – Коректор коефіцієнта потужності

ШІМ – Широтно-імпульсна модуляція

ЕМС – Електромагнітна сумісність

ККД – Коефіцієнт корисної дії

RGB – red, green, blue(червоний, зелений, синій)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. БУДОВА ТА ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ СВІТЛОДІОДІВ.....	10
1.1 Будова та принцип роботи світлодіода	10
1.2 Основні параметри та конструкція світлодіодів видимого діапазону.....	17
РОЗДІЛ 2. СХЕМНІ РЕАЛІЗАЦІЇ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СВІТЛОДІОДНИХ УСТАНОВОК	29
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕНІСТЮ.....	34
3.1 Регулятори освітленості на потенціометрі (реостаті)	34
3.2 Аналоговий метод управління	35
3.3 Регулювання освітленості методом ШІМ-входів.	36
3.4 Генератор широтно-імпульсного моделювання з ручним керуванням.....	37
РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ БЛОКА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СВІТЛОДІОДНОЇ УСТАНОВКИ	38
Висновки	48
Список використаних джерел	49

ВСТУП

У фізиці й техніці напівпровідників у середині 90-х років XX ст. відбувся прорив завдяки створенню гетероструктур на основі нітриду галію та близьких до нього твердих розчинів. Ефективні світлодіоди, що розроблені на основі цих матеріалів, перекрили короткохвильову частину спектру — від ультрафіолетової до жовтої області. Одночасно суттєво виросла ефективність світлодіодів на основі гетероструктур з інших напівпровідникових сполучень типу $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ — від жовто-зеленої до ближньої інфрачервоної області. Світлодіоди стали не тільки засобами сигналізації та передачі інформації у всьому спектральному діапазоні від ближньої ультрафіолетової до середньої інфрачервоної області, не тільки засобами місцевого та декоративного освітлення, але й перспективними засобами загального освітлення. Світлова віддача світлодіодів білого світіння досягла значень 130-200 лм/Вт, тобто майже на порядок перевищила світловіддачу ламп розжарювання. Світлодіодне освітлення стало конкурентоспроможним і має хороші перспективи в майбутньому, стрімко витісняючи інші джерела світла. Основним успіхом стало значне зростання їх світлової віддачі і помітне зниження вартості. Поліпшення характеристик світлодіодів дало нові можливості для застосування світлодіодних технологій. Спостерігається тенденція зростання повсюдного застосування світлодіодів, ринок світлодіодної продукції має величезний потенціал для розвитку.

Перші світлодіодні лампи мали просту конструкцію блока живлення: конденсатор, який обмежує струм, випрямляч, а далі, послідовно включені випромінюючі діоди. Проте широкого застосування такі лампи не знайшли в першу чергу через незадовільні характеристики пульсації світлового потоку. Так виникла необхідність створення спеціалізованих блоків живлення. З'явилася потреба у впровадженні блоки живлення таких складових: фільтр електромагнітної сумісності, який перешкоджає проникненню височастотних імпульсів як з мережі в БЖ, так і навпаки; коректор коефіцієнта потужності,

головним завданням якого є скорочення величини реактивної складової потужності до мінімуму. Ще більш складними є БЖ з можливістю регулювання яскравості або кольору випромінювання.

Тому метою даної роботи, є розробка блока живлення для світлодіодів, з функцією управління яскравістю, який забезпечить стабільну і довготривалу роботу світлодіодної установки.

РОЗДІЛ 1. БУДОВА ТА ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ СВІТЛОДІОДІВ

1.1 Будова та принцип роботи світлодіода

Світлодіод представляє собою напівпровідниковий діод з p - n переходом, протікання прямого струму через який викликає інтенсивне некогерентне випромінювання (рис. 1.).

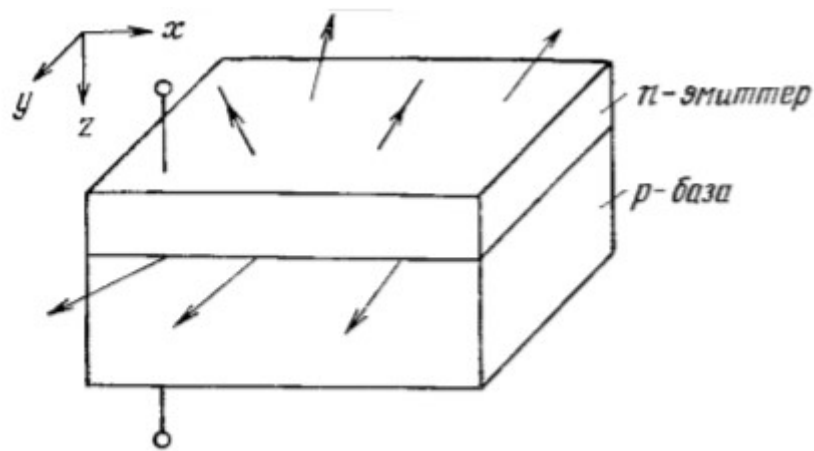


Рис. 1 Світлодіодна структура яка випромінює світло.

Робота світлодіода заснована на спонтанній рекомбінаційній люмінісценції надлишкових носіїв заряду, які інжекують в активну область (базу) світлодіода (рис. 2).

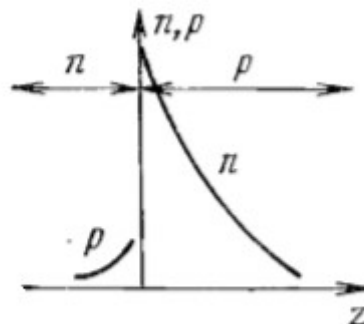


Рис. 2 Накопичення інжекованих носіїв в базі світлодіода при прямому зміщенні і просочуванні носіїв в емітер.

Для світлодіодів характерні два механізми випромінюючої рекомбінації: міжзонна рекомбінація вільних електронів та дірок в прямозонних напівпровідниках (квантові переходи зона-зона, рис. 3,а); рекомбінація електронів і дірок в складі екситонів, зв'язаних з домішковими ізоелектронними центрами (пастками) в непрямоzonних напівпровідниках (рис. 3,б).

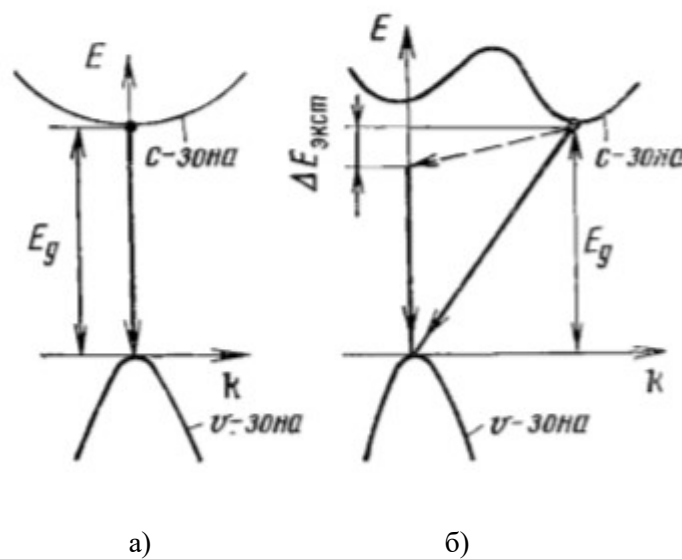


Рис. 3 Випромінюючий перехід в прямозонному(а) та непрямоzonному(б) напівпровідниках

Прямі переходи відбуваються без зміни імпульса електрона (на рис. 3,а імпульс до і після переходу дорівнює нулю), тому закон збереження імпульсу відбувається «автоматично» при безпосередній рекомбінації електрона з діркою. Звідси і така висока ймовірність таких переходів (для GaAs при кімнатній температурі коефіцієнт Ейнштейна становить $A_{21}=3 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$). Типовими прямозонними напівпровідниками крім GaAs є InAs, InSb, GaSb, , матеріали групи A^3B^5 , такі як GaAlAs, GaAsP, InGaAsP, більшість сполук типу A^2B^6 (ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdTe, CdSe), а також ряд інших бінарних сполук (PbS, PbSe, PbTe).

Ймовірність рекомбінації, дуже низька в непрямоzonних напівпровідниках

(наприклад, для GaP $A_{21}=5 \cdot 10^{-14} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$), може різко вирости при утворенні в них ізоелектронних (електрично нейтральних) екситонних пасток. У GaP такі пастки утворюються шляхом легування кристалу азотом (при цьому атом N заміщує в решітці атом P) або одночасно киснем і цинком (атоми O і Zn заміщають атоми P і Ga відповідно). Енергетична структура цих центрів така, що вони ефективно притягають електрони і дірки з утворенням екситонів. Після локалізації частинок на «важкому» центрі їх випромінююча рекомбінація відбувається так, як в прямозонному напівпровіднику; при цьому імпульс передається центру. Енергія цього квантового переходу відрізняється від шорини забороненої зони E_g на енергію зв'язку екситона. Зрозуміло, що при обох механізмах випромінювання має місце і невивпромінююча рекомбінація, на яку витрачається частина енергії збудження.

Процес інжекції відрізняється тим, що при малих щільностях струму концентрація носіїв які вводяться n (або p), пропорційна прямому струму $I_{пр}$, при цьому потужність випромінювання $P_{випр.} \sim n$ (або p). При великій щільності струму $n(p) \approx \sqrt{I_{пр}}$, але при цьому $P_{випр.} \approx pr$, тобто як і раніше $P_{випр.} \approx I_{пр}$. Таким чином, в широкому діапазоні значень $I_{пр}$ ват-амперна характеристика світлодіодів лінійна (рис. 4).

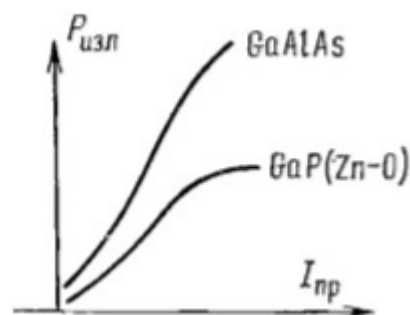


Рис. 4 Ват-амперна характеристика світлодіода.

Ділянка низької ефективності світіння при дуже малих прямих струмах обумовлена значним внеском невивпромінюючої рекомбінації на поверхні і в області об'ємного заряду, при збільшенні струму ці центри рекомбінації

«забиваються» носіями заряду і їх роль слабшає. Сублінійна ділянка ват-амперної характеристики при великих прямих струмах найчастіше зв'язана з погіршенням здатності р-п-переходу до інжекції і з розігрівом.

Сучасні світлодіоди можна умовно розділити на кілька основних груп за споживанням потужності і робочому діапазоні струмів: індикаторні, надяскраві і потужні. Індикаторні СД - компактні світлодіоди, мають відносно невелику силу світла (До 100 мкд). Робочий діапазон струму близько 20 мА. Вони зазвичай випускаються в стандартному корпусі з виводами (діаметр основи 3 або 5 мм). В основному такі світлодіоди застосовуються в оптичних індикаторах. Яскраві світлодіоди зазвичай збираються на напівпровідникових кристалах малого і середнього розміру (від 200×200 до 500×500 мкм) і мають високі світлові характеристики (сила світла до 10 кд, середній світловий потік в білому кольорі близько 20-30 лм і більше). Робочий діапазон струмів від приблизно 20 до 150-200 мА. Вони можуть бути виконані в стандартному корпусі з виводами (діаметр основи 3, 5 або 10 мм) або в корпусі для поверхневого монтажу (SMD-світлодіоди). Варто зауважити, що яскравий світлодіод займає проміжне положення між індикаторними і потужними, і чітку межу тут насправді провести досить важко. Яскраві світлодіоди мають широкий спектр застосувань - світлова реклама, дорожні світлофори, автомобільна світлотехніка, екрани, мобільні телефони і тому подібне. Потужні світлодіоди мають найбільші розміри кристалів і максимальні значення світлової віддачі (більше 50 лм / Вт для білого кольору). Потужність в номінальному режимі (струм 350 мА) становить близько 1 Вт. Допускається застосування при струмах 500, 700, 1000 мА і вище. Підвищення робочого струму дозволяє збільшити світловий потік. Випускаються в корпусі для поверхневого монтажу. Основним застосуванням потужних світлодіодів є різне освітлювальне обладнання. Окремо варто зупинитися на світлодіодних модулях. Світлодіодні модулі являють собою збірку з багатьох кристалів, з'єднаних в послідовно-паралельні ланцюжки на одній платі. Випускаються у вигляді плат з контактами для пайки та отворами для кріплення. Можуть мати вбудовані драйвери живлення на платі. Основним

їх застосуванням є також освітлювальне обладнання. Останнім часом світлодіоди стали класифікувати і по застосуванню. Варто сказати кілька слів про нове поняття, введене західними виробниками, - світлодіоди для освітлення (Lighting Class LED). Ці світлодіоди повинні відповідати певним вимогам до світлового потоку і колірної температури. Зокрема, як декларується провідними виробниками, світловий потік таких світлодіодів не повинен знижуватися більше ніж на 30% від початкового значення за 50 000 годин роботи, а також зміна колірної температури не повинно бути візуально помітною.

Вперше випромінювання світла напівпровідниковими структурами було експериментально виявлено на початку XX ст. У 1907 р Генрі Джозеф Раунд перевіряв можливість застосування кристалів карбіду кремнію (SiC), або, як його тоді називали, - карборунда, в якості випрямляючих твердотільних детекторів. Пізніше ці детектори отримали назву «кристалічних детекторів». Вони використовувалися як демодулятори радіочастотних сигналів в перших радіоприймачах. Робота кристалічних детекторів була вперше продемонстрована в 1906 р. У той час структури типу «кристал – точковий металевий контакт» часто досліджувалися в пошуках альтернативи дорогим вакуумним діодам, які вперше з'явилися в 1904 р і споживали багато електричної енергії. При роботі з кристалами карборунда Раунд зауважив світіння. Фактично саме з цього моменту і починається історія світлодіодів. Правда, в ті часи не існувало точних методів визначення механічних властивостей матеріалів, що не дало можливості пояснити фізику процесу випромінювання світла. У 1928 р Олег Володимирович Лосєв опублікував результати своїх досліджень явища люмінесценції, що спостерігається в випрямляючих діодах на основі SiC, які використовувалися в якості демодуляторів в радіосхемах, на переходах метал-напівпровідник. В 1923 р. Лосєв встановив, що випромінювання світла в одних діодах виникає тільки при їх зміщенні в зворотному напрямку, а в інших - при зміщенні як в прямому, так і в зворотному напрямках. Таким чином був відкритий ефект прямого перетворення енергії електричного струму в світлову енергію. Це явище отримало назву електролюмінесценції. Однак потужність

випромінювання і ККД джерела світла на основі SiC були настільки малі, що він представляв лише науковий інтерес, хоча Лосєв вже тоді припустив можливу область застосування відкритого ним ефекту. Він намагався знайти причину виникнення люмінесценції, припустивши, що дане явище «дуже схоже на процес випускання холодних електронів», і виявив, що процес появи і зникнення світіння в діодах на основі SiC відбувався дуже швидко, що робило можливим виготовлення на їх основі так званих «світових реле». Дещо пізніше, в кінці 30-х рр. XX ст., в своїх роботах О. В. Лосєв зазначив, що світіння виникає в кристалі на границі між р- і n-областями.

До кінця 60-х рр. були розроблені технології отримання плівок SiC і виготовлення на їх основі напівпровідникових пристроїв з р-n переходом. Діоди з карбіду кремнію були прабатьками сучасних світлодіодів на основі блакитного світіння. На жаль, SiC є непрямозонним напівпровідником, тому ймовірність міжзонних оптичних переходів в ньому дуже мала. Як наслідок, ефективність таких світлодіодів вкрай низька, вона складає соті, а то і тисячні частки відсотка. Найкращі світлодіоди на основі SiC випромінювали світло з довжиною хвилі 470 нм і мали значення ККД близько 0,03%. До початку 90-х рр. випуск світлодіодів на основі SiC блакитного світіння був практично припинений, оскільки цей матеріал не міг далі конкурувати з напівпровідниковими матеріалами типу $A^{III}B^V$.

Найпоширеніші світлодіоди - це світловипромінюючі діоди, створені на основі арсеніду галію. Оскільки GaAs - прямозонний напівпровідник, його будова енергетичної структури дозволяє зробити прилад, ефективно перетворюючий електроенергію в випромінювання. З усіх напівпровідників з прямою структурою енергетичних зон арсенід галію є особливо найбільш технологічно дослідженим. Світлодіоди на основі GaAs здатні працювати в області спектра ближнього інфрачервоного випромінювання, а сам спектр випромінювання таких світлодіодів задовольняє спектр фоточутливості кремнієвих фотодіодів.

Максимум спектральної характеристики у світлодіодів типу A^3B^5 та A^2B^6 і на основі інших бінарних сполук зрушити майже неможливо, так як ширина забороненої зони залишається незмінною за умови незмінності температури. Звідси випливає, що в оптоелектроніці напівпровідників широкого поширення набули саме тверді розчини таких речовин. Їх перевага в можливості регулювання основних характеристик в широкому діапазоні за допомогою зміни складу розчину при найменшій зміні узгодження параметрів кристалічної решітки. Прямоzonні $Ga_xIn_{1-x}As$ і $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ використовують для області понад 1 мікрометра. Максимум спектру випромінювання можна зрушувати, змінюючи склад твердого розчину. Ставлячи x і y , можна створити світлодіод для певної частини спектра. Так зручно виготовляти світлодіоди для конкретних завдань. Наприклад, світлодіоди, випромінювання яких збігається з мінімумом втрат в опто-волокні. Так само збіг можливий з максимумом в спектрі речовини, у якого потрібно здійснювати контроль концентрації.

Для частини спектра з довжинами хвиль понад 5 мікрометра світлодіоди виготовляються на основі прямоzonних $Pb_xSn_{1-x}Te$, $Pb_xSn_{1-x}Se$ (халькогеніди свинцю) і $Cd_xHg_{1-x}Te$ (халькогеніди ртуті).

У червоній області спектра випромінюють світлодіоди з прямоzonних $Al_xGa_{1-x}As$ і $GaAs_{1-x}P_x$, де $x < 0,4$, і непрямоzonних фосфіду галію, легованого $Zn + O$.

Щоб отримати світлодіоди, що випромінюють зелене, жовте, а також помаранчеве світло, спочатку використовували непрямоzonні $GaAs_{1-x}P_x$, де $x > 0,6$, легований азотом. Введення азоту підвищує можливість випромінювальної рекомбінації. Світлодіоди з $GaP: N$ випромінюють зелене світло з $\lambda_{max} = 0,565$ мкм, але там крім цього присутній смуга з максимумом в червоній області спектра з $\lambda_{max} = 0,7$ мкм. Це викликано тим, що в активному епітаксialьному шарі світлодіода, залишилися атоми кисню. Надалі з розвитком технології почали використовувати червоні і жовті світловипромінюючі діоди на основі прямоzonних $Al_xGa_yIn_{1-x-y}P$.

Світлодіоди, які працюють в блакитній, синій і фіолетовій області видимого спектру, створюються на основі GaN і гетеропереходних речовин $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ і $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$. Для білих світлодіодів використовується GaN- $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}$ з люмінофором, який перетворює випромінювання в синьому діапазоні в зелено-жовте. На спектр випромінювання впливає також температурна зміна ширини забороненої зони. При збільшенні температури відбувається зсув максимуму випромінювання (збільшення довжини хвилі), з ростом температури спектральні характеристики розширюються.

1.2 Основні параметри та конструкція світлодіодів видимого діапазону

Параметри світлодіодів визначаються їхніми вольт-амперними характеристиками (ВАХ). Відмінності прямих гілок ВАХ обумовлені різницею в ширині забороненої зони матеріалів, які використовуються. Чим менша довжина хвилі випромінювання, тим більше пряме падіння напруги на світлодіоді і втрати енергії в ньому (рис. 5). Зворотні гілки ВАХ мають малу допустиму зворотню напругу. Тому, при роботі в схемах з великою зворотною напругою, послідовно з світлодіодом включають звичайний діод.

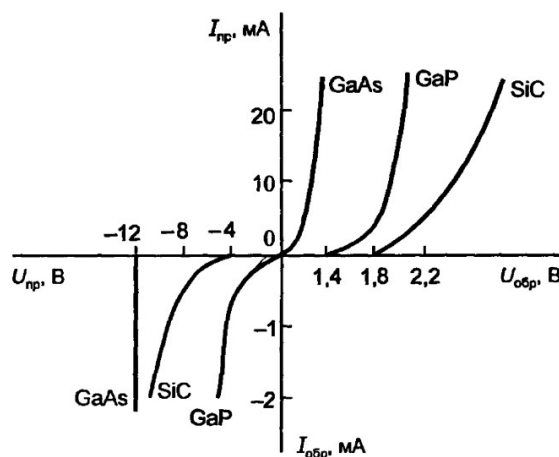


Рис. 5 Вольт-амперні характеристики світлодіодів з різних матеріалів.

Колір світіння характеризується спектральними характеристиками випромінювання діодів. Випромінювання діода характеризується діаграмою напрямленості, яка визначається конструкцією діода (рис 6), наявністю лінзи. Випромінювання світлодіода буває напрямленим та розсіяним.

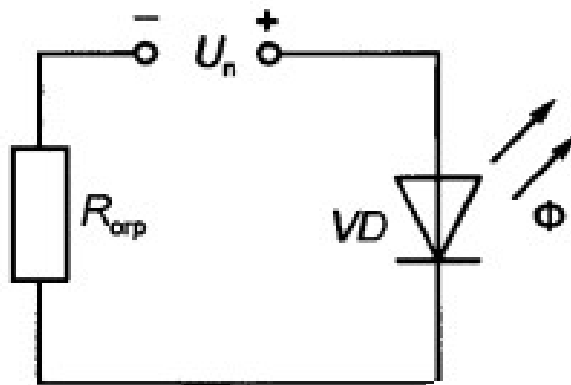


Рис. 6 Схема включення світлодіода.

Ефективність роботи світлодіода характеризується залежностями параметрів оптичного випромінювання від прямого струму через елемент. Залежність потоку випромінювання Φ , Вт, від прямого струму $I_{пр}$ називається характеристикою випромінювання (рис 7).

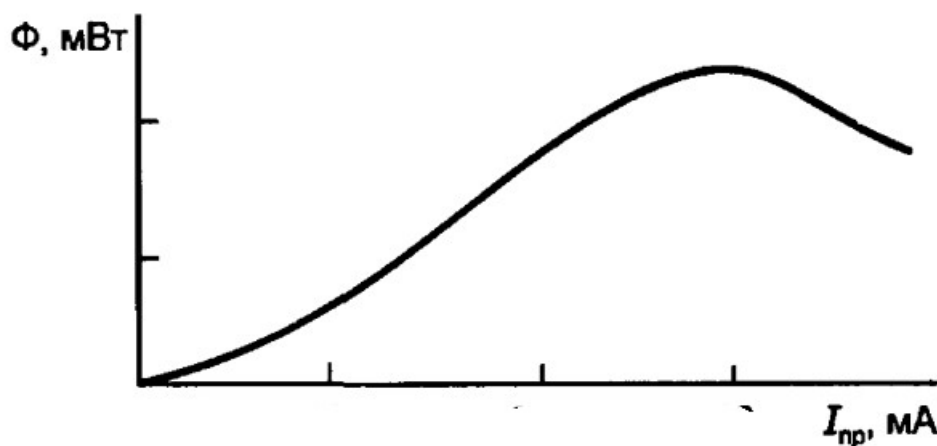


Рис. 7 Характеристика випромінювання світлодіода.

В якості параметра електричного режиму роботи вибраний прямий струм, а не напруга. Причина полягає в тому, що у світлодіода р-п перехід включають в прямому напрямку, опір якого дуже малий. В більшості випадків прямий струм через світлодіод задається зовнішнім ланцюгом, наприклад, обмежуючим резистором $R_{огр}$ на рис. 6.

Для світлодіодів видимого діапазону виділяють ряд основних параметрів:

Сила світла I_v – відношення світлового потоку світлодіода, до тілесного кута в напрямку, перпендикулярному площині випромінювання кристала. Вказується при заданому значенні прямого струму і вимірюється в канделах (кд).

Яскравість випромінювання L – величина, яка дорівнює відношенню сили світла до площі поверхні випромінювання. Вимірюється в канделах на квадратний метр ($\text{кд}/\text{м}^2$) при заданому значенні прямого струму, що протікає через світлодіод.

Постійна пряма напруга $U_{пр}$ – значення напруги на світлодіоді при протіканні постійного прямого струму.

Максимально допустимий прямий струм $I_{пр\ max}$ – максимальне значення постійного прямого струму, при якому забезпечується задана надійність при довготривалій роботі діода.

Максимальна допустима зворотня напруга $U_{пр\ max}$ – максимальне значення постійної напруги, прикладеної до діода, при якій забезпечується задана надійність при довготривалій роботі.

Максимальна допустима зворотня імпульсна напруга $U_{зв\ імп}$ – максимальне пікове значення зворотньої напруги на світлодіоді, включаючи як одноразові викиди, так і ті, які періодично повторяються.

Максимум спектрального розподілу λ_{max} – довжина хвилі випромінювання, яка відповідає максимуму спектральної характеристики випромінювання світлодіода. Параметри деяких світлодіодів видимого діапазону наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 Параметри світлодіодів видимого діапазону.

Тип прибора	Цвет свечения	Значения параметров при $T = 25^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{пр ном}}$, мА				Предельные значения параметров при $T = 25^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{к макс}}$, $^{\circ}\text{C}$
		I_v , мккд (L), кд/м ²	$U_{\text{пр}}$, В	$I_{\text{пр ном}}$, мА	$\lambda_{\text{мах}}$, нм	$I_{\text{пр макс}}$, мА	$U_{\text{обр макс}}$ ($U_{\text{обр н макс}}$), В	
2Л101А	Желтый	(10)	5	10	0,64	10	(2,0)	70
2Л101Б	Желтый	(15)	5	20	0,64	20	(2,0)	70
АЛ102А	Красный	40	2,8	5	0,69	10	(2,0)	70
АЛ102Б	Красный	100	2,8	10	0,69	20	(2,0)	70
АЛ102В	Зеленый	200	2,8	20	0,53	22	(2,0)	70
АЛ102Г	Красный	250	2,8	10	0,69	20	(2,0)	70
АЛ102Д	Зеленый	400	2,8	20	0,53	22	(2,0)	70
3Л102А	Красный	20	3	5	0,69	20	(2,0)	70
3Л102Б	Красный	100	3	10	0,69	20	(2,0)	70
3Л102В	Зеленый	250	2,8	20	0,53	22	(2,0)	70
3Л102Г	Красный	60	3	10	0,69	20	(2,0)	70
3Л102Д	Красный	200	3	10	0,69	20	(2,0)	70
АЛ112А	Красный	(1000)	2	10	0,68	12	(2,0)	70
АЛ112Б	Красный	(600)	2	10	0,68	12	(2,0)	70
АЛ112В	Красный	(250)	2	10	0,68	12	(2,0)	70
АЛ112Г	Красный	(350)	2	10	0,68	12	(2,0)	70
АЛ112Д	Красный	(150)	2	10	0,68	12	(2,0)	70
АЛ112Е	Красный	(1000)	2	10	0,68	12	(2,0)	70
АЛ112Ж	Красный	(600)	2	10	0,68	12	(2,0)	70

Світлодіоди відрізняються великою кількістю робочих довжин хвиль, невеликою інерційністю, високою надійністю і малим споживання енергії. Світлодіоди часто застосовуються в світлотехніці, в накачуванні лазерів, в оптичному зв'язку, в індикації та інших областях техніки. Змінюючи кількість домішок легуючих матеріалів, можна варіювати довжину хвилі випромінювання світлодіода. Енергетичні діаграми р-п-переходу наведено на рис. 8.

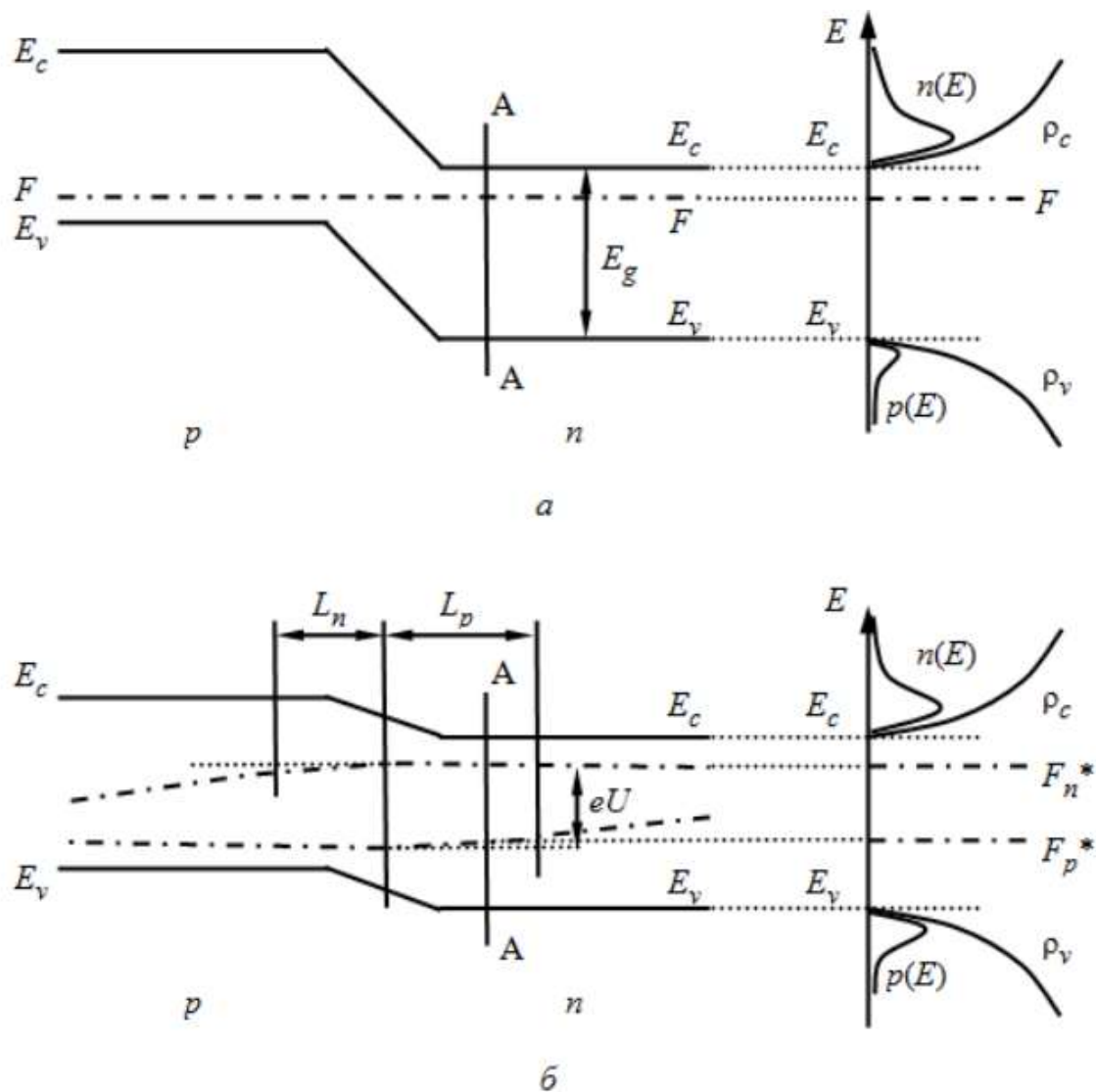


Рис. 8 Енергетичні діаграми р-п-переходу і розосередження електронів і дірок по енергіях: а - зовнішня напруга відсутня;
б - прикладена позитивна напруга

Коли зовнішня напруга відсутня (рис. 8, а), в області перетину А-А спостерігається велика концентрація електронів і низька концентрація дірок. Існує потенціальний бар'єр, який заважає дифузії носіїв зарядів до відповідних області.

При прикладанні позитивної напруги, існуючий потенціальний бар'єр зменшується на eU (рис. 8, б), при цьому електрони, що знаходяться в п-області, починають інжекцію в р-область, а дірки, що знаходяться в р-області починають інжекцію в п-область. Через рекомбінацію, у неосновних носіїв концентрація зменшується по експоненті в міру того, як вони дифундують від простору

об'ємного заряду. Відстань, при якій у інжекованих носіїв концентрація знизиться в e раз, називають глибиною проникнення. Це довжина L_n в матеріалі р-типу і L_p в матеріалі n-типу.

Через інжекцію неосновних носіїв заряду крізь напівпровідниковий перехід виникає їх нерівномірний розподіл в р- і n- областях. Це може бути охарактеризоване квазірівнями Фермі, тобто, це означає, що рівень Фермі розщепиться на 2 квазірівні, причому для електронів і дірок окремо. У міру того, як буде відбуватися віддалення від області об'ємного заряду, починається наближення квазірівнів Фермі до рівноважного рівня, і поступове з'єднання з ним. Дифузійною довжиною L_n або L_p називається та відстань, на якій нерівноважний квазірівень зменшується (у разі електронів) або збільшується (для дірок) приблизно на kT від найбільшої величини на межі р-n-переходу.

Величина прямої напруги U , прикладена до напівпровідникової структури, визначає для неосновних носіїв інтенсивність інжекції через р-n-перехід. Так як потенціальний бар'єр не може бути негативним, максимальне значення напруги U_{\max} визначається випрямленням енергетичних зон, коли потенціальний бар'єр зникає через зовнішнє поле. Як видно з рис. 8, $eU_{\max} \approx E_g$ і значення робочої напруги складають зазвичай 1-4 В. При протіканні струму напруга частково падає на контакти і базові області, і робочий струм становить 0,1-300 мА. Його величина залежить від площі р-n-переходу і обмежена нагріванням.

Основною характеристикою напівпровідникового джерела світла є світлова ефективність - це ККД світлодіода, показує наскільки добре електрична енергія перетворюється в світлову

$$\eta \approx \frac{\hbar\omega_{\max}}{eU_{\text{роб}}} \eta_e; \quad (1)$$

де η_e - зовнішній квантовий вихід люмінесценції; $\hbar\omega_{\max}$ - енергія фотона, яка відповідає екстремуму спектра випромінювання; $U_{\text{роб}}$ - зовнішня напруга. Ефективність визначається структурою світлодіода і видом використовуваного переходу. Щоб збільшити світлову ефективність, потрібно, щоб основна частка

енергії, що звільняється при рекомбінації носіїв, витрачалася на випромінювання. Застосування гетероструктур може збільшити η .

Величина коефіцієнта світлового виходу являє собою ефективність виходу випромінювання, що створюється в активній області, з кристала. Оскільки у напівпровідника і у повітря різні показники заломлення, з світлодіода виходить лише невелика частина світла, і визначається вона критичним кутом.

$$\theta_{\text{кр}} = \arcsin \frac{1}{n}. \quad (2)$$

Основним фактором, що впливає на зовнішній квантовий вихід, є необхідність організації виведення випромінювання в одну сторону, а саме безпосередньо до спостерігача. Коефіцієнт η_0 можна збільшити, підвищуючи критичний кут і роблячи менше відбивання в межах вихідного конуса. Над світлодіодом поміщають лінзу напівсферичної форми. Змінюючи форму лінзи, можна змінювати діаграму спрямованості.

Спектральна характеристика - ще одна важлива характеристика світлодіодів. Спектр визначається шириною забороненої зони E_g , температурою T і коефіцієнтом Φ_0 . Виходячи з величини забороненої зони матеріалу, необхідно підбирати таке його значення, щоб довжина хвилі була максимально близька до центру видимого випромінювання. З огляду на те, що основними напівпровідниковими матеріалами є кремній і германій, які мають малі величини заборонених зон, як матеріали для напівпровідникових світлодіодів використовуються інші речовини.

Однак параметри світлодіода залежать не тільки від виду напівпровідникової структури, яка в ньому використовується, але і від геометричних характеристик кристала.

Плоска конструкція (рис. 9) отримала широке застосування завдяки простоті і низькій вартості. Вона використовується в багатьох виробках оптоелектроніки : індикаторах і оптопарах. Якщо верхній омічний контакт виготовити у вигляді вузької смужки, то прямий струм локалізується, активна

область різко звужується і переважає торцеве випромінювання в місці виходу р-п-переходу на бічну грань кристала. Такі світлодіоди з торцевим свіченням іноді знаходять застосування в опто-волоконних лініях передачі, а також в принтерах.

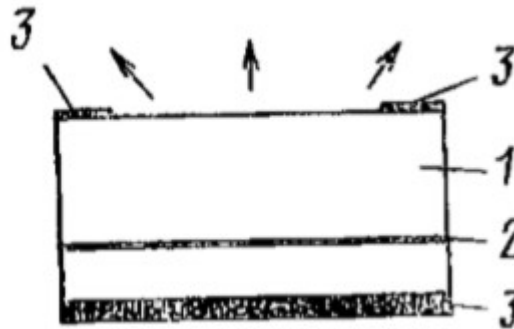


Рис. 9 Плоска конструкція світлодіода:

1 - кристал; 2 - активна область випромінювання; 3 - омічні контакти.

Меза-структура (рис. 10) складніша у виготовленні, однак її використання дозволяє зменшити площу випромінювання, а також поліпшити діаграму спрямованості внаслідок світлозбираючої дії бічної конічної поверхні звуженої частини кристала.

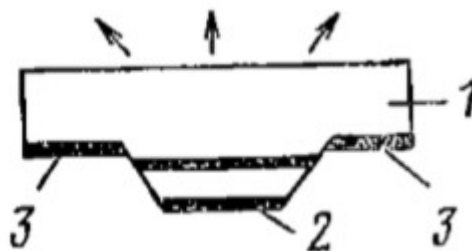


Рис. 10 Меза-структура:

1 - кристал; 2 - активна область випромінювання; 3 - омічні контакти.

Меза-структури нерідко доповнюються фокусуючими мікролінзами, які виготовляються з пластмаси або з самого напівпровідникового кристала (рис 11).

У конструкціях з лінзою досягається найбільш висока ефективність виведення випромінювання, проте вони складні, а іноді і неприйнятно громіздкі. Інші методи зменшення площі фронтального випромінювання – локальна епітаксія або локальна дифузія в планарному процесі – також використовуються, але при цьому не завжди вдається подолати ефект деградації.

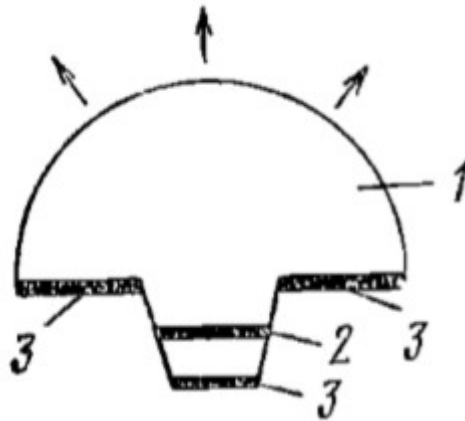


Рис. 11 Меза-структура доповнена фокусуючою лінзою:

1 - кристал; 2 - активна область випромінювання; 3 - омічні контакти.

Так званий баррас-діод (рис. 12) а також світлодіод зі скляною кульковою лінзою (рис. 13) розроблено спеціально для ОВЛП. В першому з них локалізація активної області досягається завдяки оригінальній конструкції омічного контакту, що забезпечує і малу площу контакту з напівпровідником і хороший тепловідвід. Відрізок оптичного волокна, вклеєний в кристал, забезпечує найкращі умови виведення випромінювання і стиковку цього специфічного світлодіода з волоконними кабелями. В світлодіоді з кульковою лінзою забезпечується звуження діаграми направленості випромінювання.

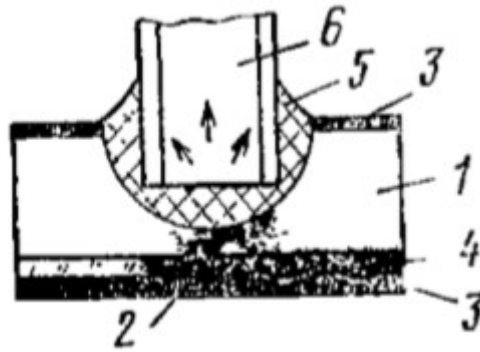


Рис. 12 Конструкція баррас-діоду:

1 - кристал; 2 - активна область випромінювання; 3 - омічні контакти;
4 - плівка діелектрика; 5 - епоксидний клей; 6 - волоконний світлопровід;

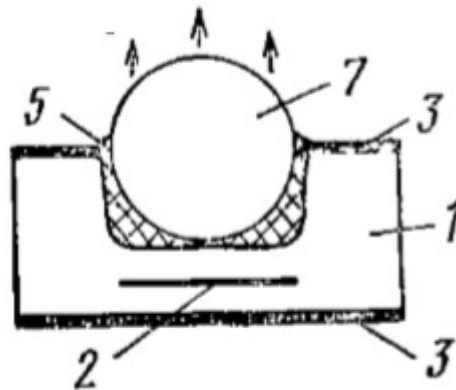


Рис. 13 Світлодіод із скляною кульковою лінзою:

1 - кристал; 2 - активна область випромінювання; 3 - омічні контакти;
4 - плівка діелектрика; 5 - епоксидний клей; 6 - волоконний світлопровід;
7 - склайна куля.

Існує два способи отримання білого світла за допомогою світлодіодів: за допомогою технології RGB та нанесенням люмінофорів на сині світлодіоди.

Згідно колірної моделі RGB, білий колір виходить за допомогою пропорційного змішування червоного, зеленого і синього кольорів. При використанні методу RGB біле світло виходить при об'єднанні випромінювання червоного, зеленого і синього світлодіодів. Метод RGB дає можливість створювати біле світло точного відтінку. Однак для створення білого кольору

RGB потрібно порівняно складне обладнання, так як в одному джерелі необхідно використовувати відразу три світлодіода.

Люмінофорні технології отримання білого світла припускають використання одного світлодіода короткохвильового випромінювання, наприклад, синього або ультрафіолетового, в комбінації з жовтим люмінофорним покриттям. Фотони синього або ультрафіолетового випромінювання, що генеруються світлодіодом, або проходять через шар люмінофора без зміни, або перетворюються в ньому на фотони жовтого світла. Комбінація фотонів синього і жовтого кольору створює біле світло. Білі люмінофорні світлодіоди забезпечують кращу передачу кольору, ніж білі RGB-світлодіоди, яку в більшості випадках можна порівняти з люмінесцентними джерелами світла. Від білих RGB-джерел світла вони також відрізняються високою енергоефективністю. Саме висока енергоефективність і хороша передача кольору роблять люмінофорні технології кращим способом отримання білого світла. В процесі виробництва білих світлодіодів на світлодіодний кристал наноситься шар люмінофора. Відтінок або колірна температура білого світла, випромінюваного світлодіодом, визначається довжиною хвилі світла, що випускається синім світлодіодом і складом люмінофора. Колірна температура випромінювання світлодіода залежить від товщини шару люмінофора. Виробники намагаються мінімізувати колірні варіації за допомогою суворого контролю товщини і складу шару люмінофора. Компанія Philips Lumileds використовує, захищений патентом, процес виготовлення світлодіодів Philips LUXEON, випромінюючих холодне і нейтральне біле світло з високою постійністю кольору. У настроюваних світлових приладах, що дозволяють отримувати біле світло з певного діапазону колірних температур, використовується принцип змішування двох кольорів. Ці прилади зазвичай містять світлодіоди холодного і теплого білого світла, індивідуально керовані за принципом, що застосовується в повноколірних джерелах світла RGB. Регулювання відносної інтенсивності холодного і теплого білого світла змінює кольорову температуру світлового приладу за тим же принципом, як

регулюється інтенсивність випромінювання червоних, зелених і синіх світлодіодів повноколірного (RGB).

Уже зараз всюди можна знайти приклади світлодіодного освітлення: світлофори, повноколірні світлодіодні відеоекрани на хмарочосах і футбольних табло, вуличні ліхтарі та світильники в будинках у людей. Мале споживання енергії, легке формування діаграми спрямованості з використанням оптики, простота управління і особлива специфіка сприйняття світла світлодіодів людським оком робить їх незамінними.

Проводилось безліч досліджень і розробок, пов'язаних з технологією виготовлення світлодіодів, завдяки цьому вдалося домогтися стрімкого збільшення ефективності білих світлодіодів. З кожним роком ставала досконалішою технологія створення сапфірових і карбідокремнієвих підкладок для епітаксiального вирощування. Більш вдосконаленим став і сам процес вирощування р-п гетероструктур (InGaN, AlGaN). Коефіцієнт оптичного виведення у світлодіодів став набагато вищим, забезпечили ефективне відведення тепла до корпусу. Створили омiчні контакти з низьким опором. Також розробили нові люмінофори для кращої передачі кольору світлодіодів.

Багато в чому технологія світлодіодів ґрунтується на прогресі нанотехнологій. Для розробки кращих структур і отримання досконалого внутрішнього квантового виходу випромінювання потрібно зменшувати розміри. Так створювалися люмінофори, у яких величина кристалітів становила близько 3 нм для кращого перетворення випромінювання. Створювалися фотонні кристали, у яких період решітки був десятки-сотні нанометрів. Світлодіодне освітлення стало конкурентоспроможним і має хороші перспективи в майбутньому, стрімко витісняючи інші джерела світла. Основним успіхом стало значне зростання їх світлової віддачі і помітне зниження вартості. Поліпшення характеристик світлодіодів дало нові можливості для застосування світлодіодних технологій. Підсумувавши результати, можна сказати, що спостерігається тенденція зростання повсюдного застосування світлодіодів, ринок світлодіодної продукції має величезний потенціал для розвитку.

РОЗДІЛ 2. СХЕМНІ РЕАЛІЗАЦІЇ БЛОКІВ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СВІТЛОДІОДНИХ УСТАНОВОК

Джерело живлення (ДЖ) світлодіодів - найважливіша частина напівпровідникового джерела світла. Багато в чому воно визначає функціональні, світлотехнічні показники і надійність освітлювального пристрою. Для розробки систем освітлення, крім світлового потоку і колірної температури важливі і такі характеристики, як електробезпека, ККД, коефіцієнт потужності, коефіцієнт пульсацій світлового потоку, електромагнітна сумісність і вартість.

Аналіз ДЖ для світлодіодних світильників, що випускаються рядом фірм, показує, що схемотехніка джерел струму визначається необхідною вихідною потужністю світильника: якщо вона менше 20 Вт, то зазвичай вибирається зворотньоходовий коректор коефіцієнта потужності (ККП) зі стабілізацією вихідного струму. При більш високій вихідній потужності використовується окремий ККП і окремий перетворювач зі стабілізацією вихідного струму і гальванічною розв'язкою вхід / вихід, що виконується за схемотехнікою зворотньоходового, прямоходового або резонансного LLC-типу. Перетворювачі без гальванічної розв'язки (понижуючого типу) з точки зору забезпечення безпеки при експлуатації світлодіодних світильників не мають широкого поширення.

При розробці велику увагу потрібно приділяти таким параметрам, як пульсації вихідного струму, електромагнітна сумісність (ЕМС) і вартість. Вибір пульсацій вихідного струму, визначається вимогами до пульсацій світлового потоку, які регламентуються стандартами і становлять для світильників загального призначення 10-20%, а для настільних світильників при тривалій роботі за комп'ютером - 5-10%. Для вуличних світильників пульсації світлового потоку не регламентовані і повинні задаватися для кожного конкретного застосування.

Для прикладу візьмемо джерело живлення на основі мікросхеми HV9910 (рис. 14). Воно виконане за схемою зворотньоходового коректора коефіцієнта потужності зі стабілізацією вихідного струму і обмеженням напруги. Типова блок-схема приведена на рис. 14. Основою перетворювача є контролер ККП, який керує силовим ключем і забезпечує коефіцієнт потужності вище 0,9. Фільтр ЕМС(електромагнітної сумісності) забезпечує електромагнітну сумісність відповідно до стандартів для світильників.

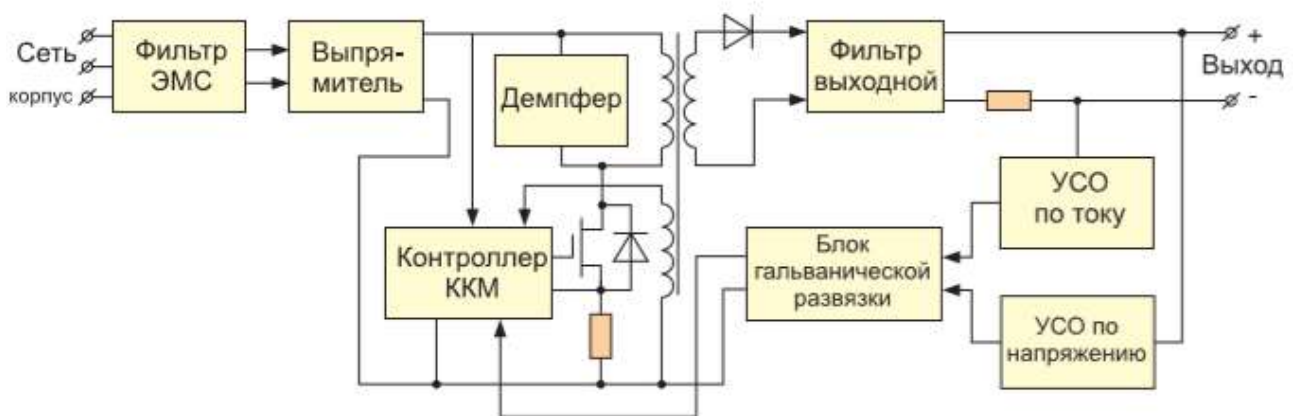


Рис. 14 Типова структура блока живлення для світлодіодів

Існує недороге мережеве неізольоване джерело струму потужністю 9 Вт. Воно являє собою понижуючий перетворювач з пасивною корекцією коефіцієнта потужності. Схема джерела наведена рис. 15.

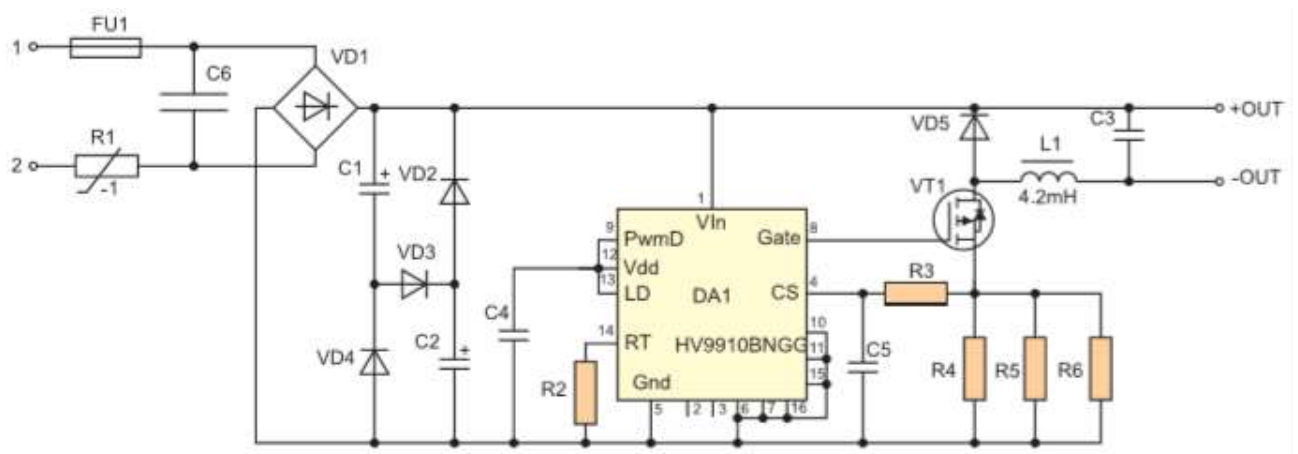


Рис. 15 Реалізація джерела живлення на основі мікросхеми HV9910

Ланцюжок C1-VD2-VD3-VD4-C2 - пасивний ККП. Вихідний струм задається резисторами R4, R5, R6. C3 - вихідний фільтруючий конденсатор.

Існує просте рішення для побудови недорогого ефективного імпульсного світлодіодного драйвера. Мікросхема Clare CPC9909 (рис. 16) являє собою контролер імпульсного перетворювача, виконаного в компактному корпусі. Завдання створення драйвера на базі CPC9909 зводиться до розрахунку номіналів компонентів, що утворюють драйвер. Як видно з наведеної схеми (рис. 3), допускається живлення CPC9909 безпосередньо від високої напруги (живлення драйвера 8 ... 550 В). Це можливо за рахунок вбудованого стабілізатора напруги, що спрощує і здешевлює схему драйвера, а також робить його більш компактним. Мікросхема CPC9909 зберігає працездатність в широкому діапазоні температур $-55 \dots + 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Розглянемо компоненти найпростішого світлодіодного драйвера на базі CPC9909 і процес його проектування.



Рис. 16 Зовнішній вигляд мікросхеми Clare CPC9909

Мікросхема CPC9909 (рис. 17) працює за схемою частотно-імпульсної модуляції з постійним контролем пікового струму.

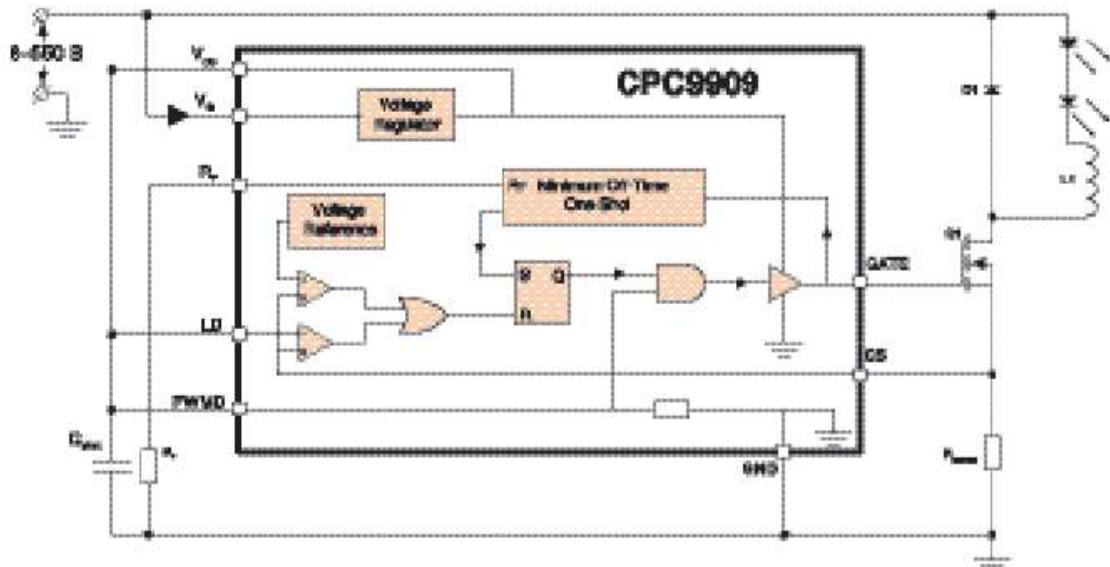


Рис. 17 Мікросхема CPC9909

Схема регулювання є стабільною, що дозволяє працювати з коефіцієнтом заповнення імпульсу D більше 50% без характерних в такому випадку нестабільності і вищих гармонік. Драйвер на CPC9909 стабілізує струм в світлодіодах, порівнюючи з опорною напругою падіння на струмовому шунті - резистивному датчику струму, підключеному до входу CS мікросхеми. Джерелом опорної напруги служить вбудоване в CPC9909 джерело каліброваної напруги 250 мВ. При необхідності на вхід LD мікросхеми може бути подана інша (менша) опорна напруга для реалізації функції м'якого включення (рис. 18).

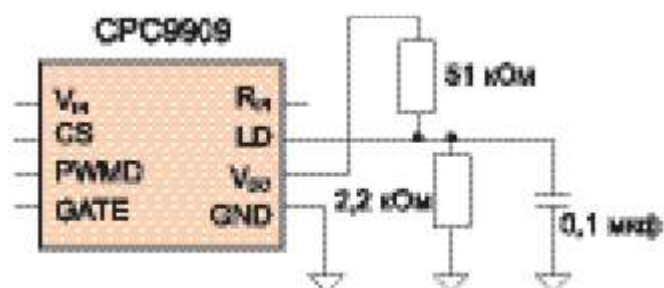


Рис. 18 Реалізація м'якого включення на мікросхемі CPC9909

М'яке включення – поступове наростання струму на світлодіодах при включенні світильника з метою додаткового продовження ресурсу світлодіодів. Ця функція особливо рекомендується для потужних світильників, що відрізняються високим тепловиділенням. У разі відсутності необхідності в м'якому включенні вхід LD мікросхеми слід підключити до виходу VDD. Для спрощення розгляду далі вважаємо, що м'яке включення не потрібно (але при необхідності легко може бути додано). У розглянутій схемі струм через світлодіоди має пилкоподібний характер, змінюючись в діапазоні від I_{LED_min} до I_{LED_max} по періодичному закону. Даний характер струму - наслідок роботи мікросхеми CPC9909 по стабілізації струму через світлодіоди. При першому включенні струм в ланцюзі вимірювального резистора дорівнює нулю, що призводить до відкриття транзистора. Відкриття транзистора означає початок періоду on-time. Протягом періоду on-time струм на виході драйвера наростає з динамікою, обмеженою індуктивністю L , при цьому в L запасається енергія (рис. 16). У момент досягнення струмом заздалегідь заданої порогової величини I_{LED_max} транзистор закривається, струм через світлодіоди починає спадати - настає період off-time. Протягом періоду off-time світлодіоди живляться енергією, раніше накопиченою в індуктивності L . Енергія поступово витрачається, струм плавно спадає. Інтенсивність спаду струму визначається величиною індуктивності. В кінці періоду off-time, тривалість якого задана заздалегідь, мікросхема відкриває транзистор, починається наступний період on-time. У цей період індуктивність L відновлює витрачену енергію, а струм зростає до граничної величини I_{LED_max} . Процес носить періодичний характер. Основні параметри роботи драйвера на CPC9909 (величина I_{LED_max} і тривалість періоду off-time) задаються двома резисторами - часозадаючим і вимірювальним.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕНІСТЮ

Потужні світлодіоди - чутливі електронні компоненти, якими для досягнення оптимальних результатів необхідно керувати в межах вузької специфікації. В даному розділі ми розглянемо кілька варіантів використання потужних світлодіодів, включаючи різні схеми управління їх світловим потоком.

3.1 Регулятори освітленості на потенціометрі (реостаті)

Якщо вхідна напруга нестабільно (наприклад, від батареї), то вхідна напруга регулятора освітленості потребує підтримки. Все, що для цього необхідно, - простий зенеровский діод. Однак якщо потрібна дуже точна настройка освітленості, то можна поставити 5-В регулятор (рис. 19, 20).

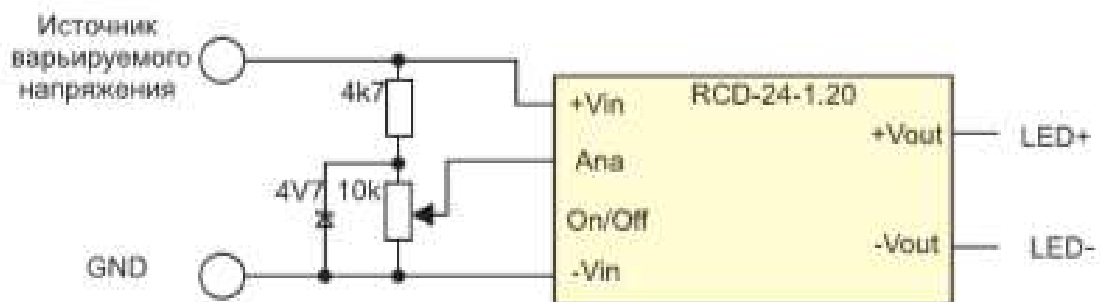


Рис. 19 Простий регулятор

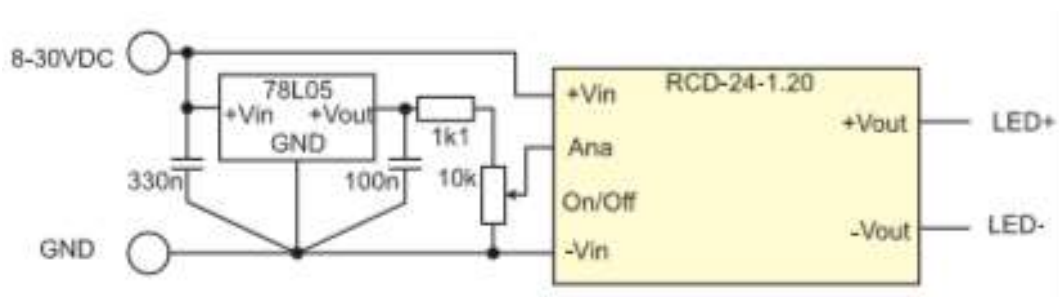


Рис. 20 Точний регулятор

3.2 Аналоговий метод управління

Управління освітленістю в діапазоні 0-10 В (0 = 0%, 10 В = 100%) На операційному підсилювачі збирається інвертуючий каскад (рис. 20). Неінвертуючий вхід підтримується на рівні «віртуальної землі» 2,25 В дільником напруги з резисторів 120 кОм і 100 кОм. Якщо вхідна напруга дорівнює нулю, то для підтримки на інвертуючому вході рівня 2,25 В напруга на операційному підсилювачі повинно бути 4,5 В. Якщо вхідна напруга дорівнює 10 В, то дільник на резисторах 1к2 і 1к0 за допомогою підсилювача дробить його до 4,5 В. Входи операційного підсилювача будуть збалансовані тільки в разі, якщо вихідна напруга дорівнює нулю. Незначно модифікована, ця схема дозволить отримати керуючу напругу в діапазоні від 1 до 10 В.

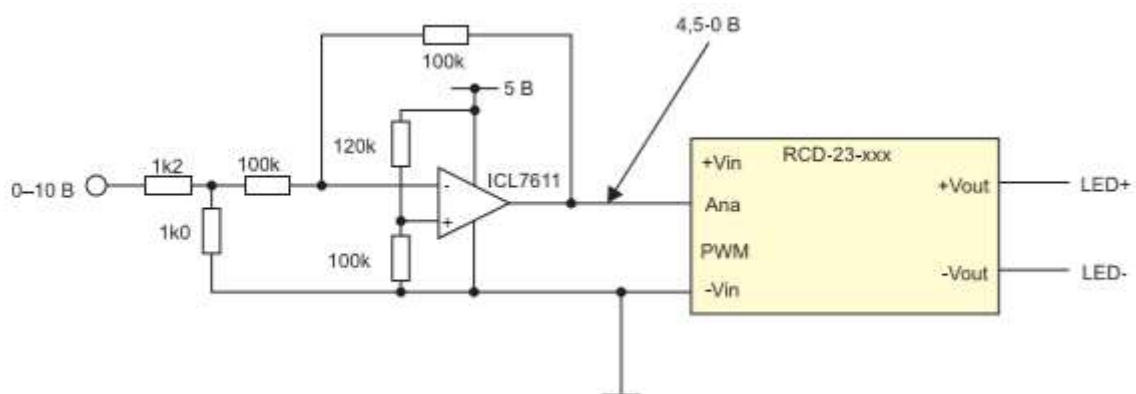


Рис. 21 Схема управління освітленістю в діапазоні 0-10 В

Управління освітленістю в діапазоні 1-10 В (1 = 0%, 10 В = 100%). На операційному підсилювачі збирається інвертуючий каскад (рис. 22). Неінвертуючий вхід підтримується під напругою «віртуальної землі» 2,25 В дільником з 100-кОм резисторів. Якщо вхідна напруга дорівнює 1 В, то дільник на резисторах 1к0 дробить його за допомогою підсилювача до 0,5 В. Входи будуть збалансовані тільки в тому випадку, якщо вихідна напруга дорівнює 4,5 В. Якщо вхідна напруга дорівнює 10 В, то очевидно, що вхідний дільник за

допомогою підсилювача зменшує його до 5 В. Входи будуть збалансовані тільки в разі, якщо вихідна напруга дорівнює нулю.

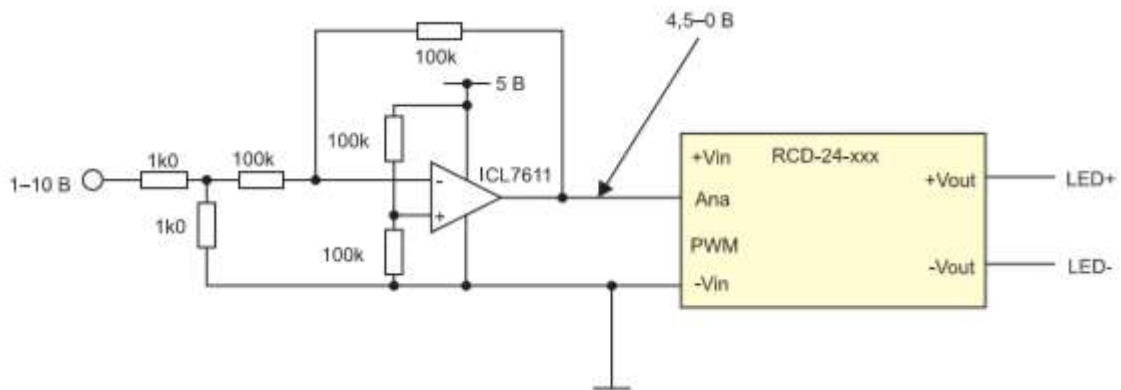


Рис. 22 Схема управління освітленістю в діапазоні 1-10 В

3.3 Регулювання освітленості методом ШІМ-входів.

Аналоговий підлаштуваний вхід може використовуватися спільно з ШІМ-входом (Широтно-Імпульсна Модуляція) (рис. 23). При цьому долається обмеження максимуму частоти ШІМ-сигналу. Це також корисно для мікроконтролерів, які генерують такий сигнал за допомогою внутрішніх таймерів, що супроводжується труднощами при створенні низькочастотних коливань. Недоліком цього методу є повільна реакція світлодіодного виходу на зміну рівня регулювання освітленості.

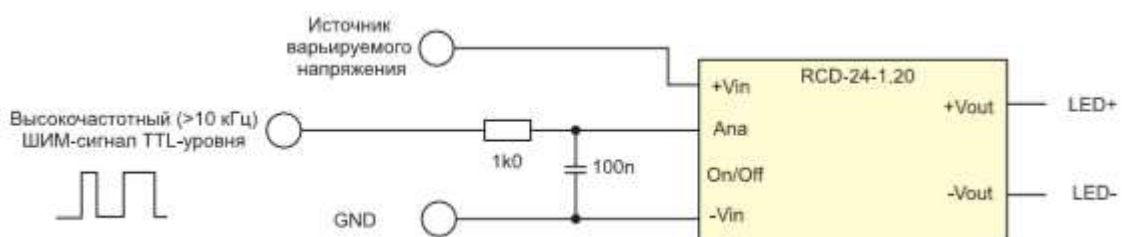


Рис. 23 Регулювання освітленості за допомогою аналогового та ШІМ-входів

3.4 Генератор широтно-імпульсного моделювання з ручним керуванням

Перевагою ШІМ-сигналу є можливість його передачі на дуже велику відстань без втрат і значно більш висока стійкість до зовнішніх наведень. Іноді замість генерації такого сигналу цифровим способом корисно мати можливість вручну (тобто потенціометром) змінювати коефіцієнт скважності. Дві наведені схеми (рис. 24 і 25) є прикладами простих ШІМ-генераторів загального призначення для драйверів RCD-серії.

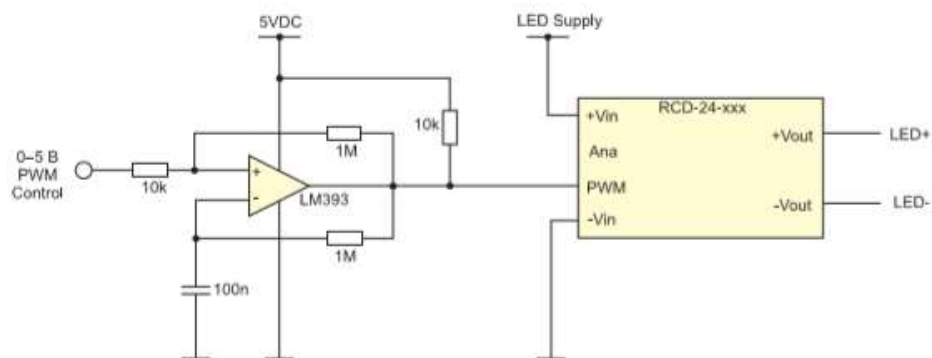


Рис. 24 ШІМ-генератор на компараторі (управління потенціометром або напругою)

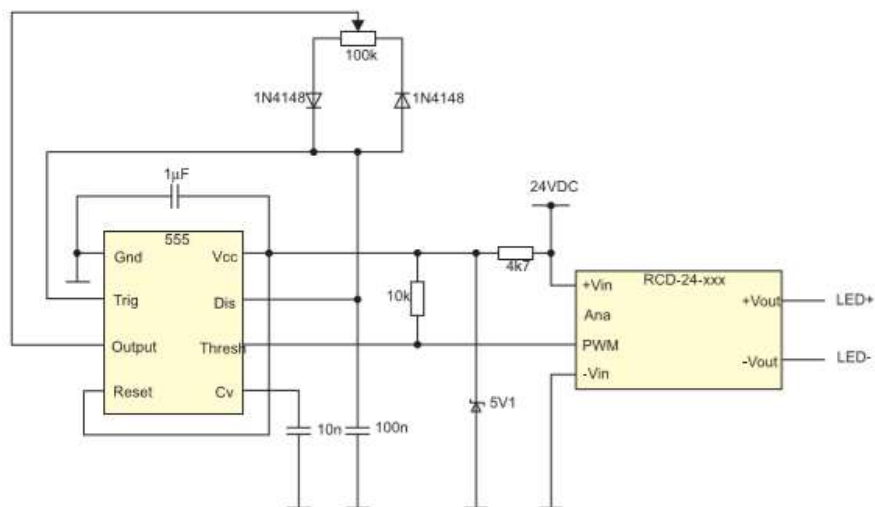


Рис. 25 ШІМ-генератор з управлінням потенціометром на ІС серії 555

РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ БЛОКА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СВІТЛОДІОДНОЇ УСТАНОВКИ

Дане джерело живлення побудоване на основі контролера HV9961 з пасивним коректором потужності в діапазоні 5-25 Вт. Принципова електрична схема БЖ для світлодіодних світильників потужністю 5-25 Вт з вихідним струмом 0,12 А показана на рис. 26.

Джерело живлення має наступні характеристики:

- вихідний струм 0,12 А;
- діапазон вихідних напруг 40-210 В;
- коефіцієнт пульсацій за струмом (50 Гц) від 0,5% при потужності 25 Вт до 1,1% при потужності 5 Вт;
- ККД від 70% при потужності 5 Вт до 90% при потужності 25 Вт.

В описуваному джерелі живлення відбір потужності в вихідний ланцюг здійснюється через розділові конденсатори С8, С9 ємністю 22 нФ класу Y2. Алгоритм роботи схеми пояснює рис. 27. При замиканні ключа відбувається накопичення енергії в індуктивності L3, при розмиканні енергія, накопичена в індуктивності L3, витрачається на заряд конденсаторів С8-С9. При наступних замиканнях ключа відбувається накопичення енергії в індуктивності L3 і розряд конденсаторів С8-С9 через навантаження і індуктивність L4. При наступних розмикання ключа енергія, накопичена в індуктивності L3, витрачається на заряд конденсаторів С8-С9, а енергія, накопичена в індуктивності L4, - на підтримку струму в навантаженні. При такій побудові вихідного ланцюга відсутня необхідність в застосуванні снаббера, що підвищує ККД джерела живлення.

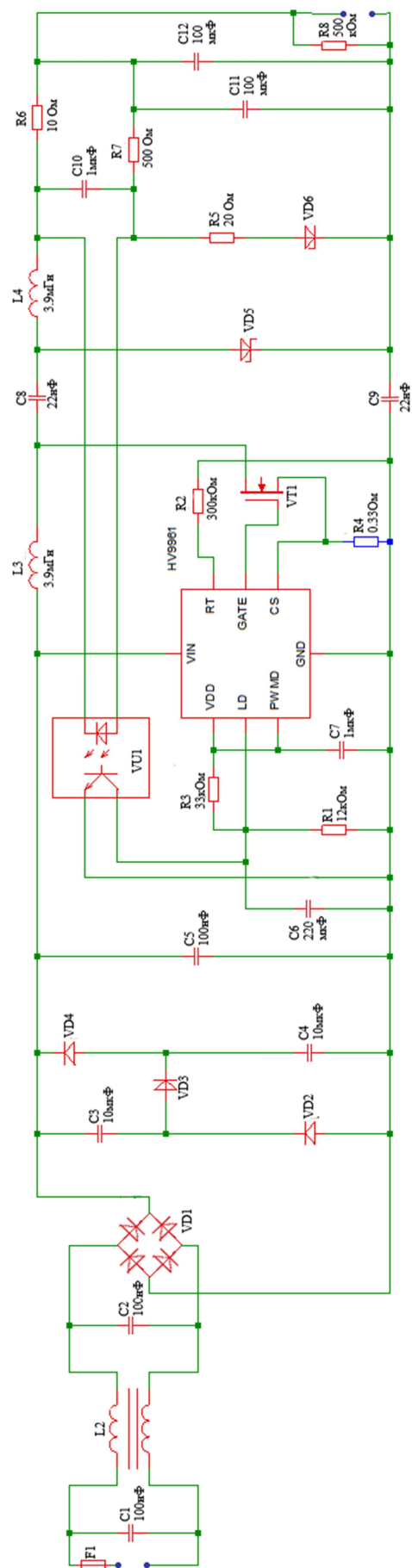


Рис. 26 Принципова електрична схема джерела живлення для регульованого освітлювача

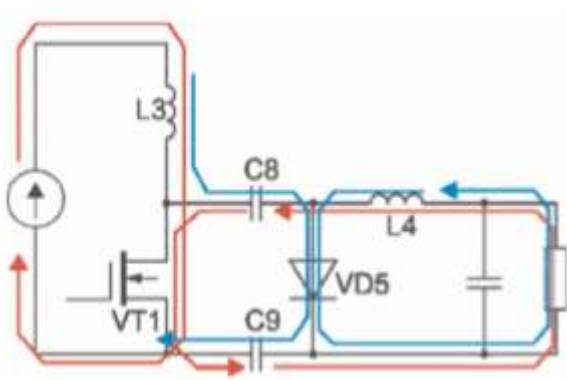


Рис. 27 Принцип перекачки енергії в вихідний ланцюг
(червоні лінії – при замкнутому ключі VT1,
сині – при розімкнутому)

Рис. 26 Принципова електрична схема джерела живлення для регульованого
освітлювача

Прямий витік для мережевого струму через сумарну ємність C8-C9 44 нФ при контакті вихідного ланцюга з «землею» становить близько 3 мА. Драйвер An9961 є мікросхемою стабілізатора - регулятора струму для світлодіодів з ШІМ-перетворювачем. Спочатку драйвер проектувався тільки для неізованих джерел живлення, але наявність декількох керуючих виводів дозволяє розробляти на його основі ізовані джерела живлення з контролем вихідного струму, вихідної напруги і вихідної потужності. Функціональна схема драйвера HV9961 показана на рис. 28.

якого мають однакове число витків і намотані на одному сердечнику. З цього випливає, що корисний струм мережевої частоти, що протікає по обмотках I і II в протилежних напрямках, буде створювати в осерді T1 два рівних зустрічнонаправлених магнітних потоки, які взаємно компенсують один одного. Тому незалежно від величини споживаного від мережі струму сердечник T1 не буде намагнічуватися, а значить, індуктивність обох обмоток буде максимальна.

Основне призначення конденсатора C2 - фільтрація перешкод, створюваних діодним мостом. Справа в тому, що процес відновлення зворотного опору діодів при перемиканні не є миттєвим, і при зміні полярності прикладеної напруги через діоди протікають імпульсні зворотні струми, обумовлені розсмоктуванням надлишкових носіїв. Ці імпульсні струми і є перешкодами, що генеруються мережевим випрямлячем. Конденсатор C2, включений в діагональ діодного моста, замикає через себе струми цих імпульсних перешкод, перешкоджаючи їх проникненню в мережу живлення і навантаження блоку живлення.

Напруга живлення драйвера HV9961 12- 450 В - вивід VIN. Напруга внутрішнього джерела 7,5 В - вивід VDD. Драйвер має вхід ШІМ-регулятора (PWMD), вхід лінійного диммінга (LD), вхід для визначення струму польового транзистора за допомогою зовнішнього струмочутливого резистора (CS), вхід для підключення резистора, що дозволяє програмувати час вимкненого стану (RT) і вихід для управління N – канальним МОП-транзистором великої потужності (GATE). При низькій напрузі на вході PWMD вихід GATE відключений, при напрузі на вході PWMD більше 2,2 В драйвер переходить в робочий режим. При підвищенні напруги на вході CS більше 0,45 В драйвер переходить у вимкнений стан на час 650 мкс.

Струм керованого транзистора змінюється зовнішнім струмочутливим резистором або напругою на вході лінійного диммінга LD. При напрузі на вході LD менше 150 мВ вихід GATE відключається, при напрузі на вході LD більше 1,5В струм керованого транзистора визначається струмочутливим резистором, при напрузі на вході LD 0,15-1,5 В струм керованого транзистора визначається

як струмочутливим резистором, так і напругою на вході LD. Крім того, передбачений захист драйвера від перегріву і захист польового транзистора при короткому замиканні на виході. Стабілізація вихідного струму здійснюється зміною напруги на вході лінійного диммінга драйвера за допомогою оптопари VU1, на вхід якої надходить напруга з резистора R8, який задає струм. При навантаженні 25Вт на виведення LD близько 1В, при навантаженні 5 Вт близько 0,3В. Груба установка вихідного струму здійснюється резистором R8, точна - R9. При зниженні опору резистора R8 вихідний струм підвищується - наприклад, при опорі R8 3 Ом струм ДЖ становить близько 0,35А. Максимальний струм керованого транзистора встановлюється струмочутливими резисторами R4-R6. Стабілітрон VD6 переводить ДЖ у режим низького споживання енергії в разі відсутності на його виході навантаження. Напруга стабілізації визначається максимальною потужністю джерела живлення (25 Вт) і вихідним струмом (при вихідному струмі 0,12 А вона повинна бути рівною або трохи більшою 208 В). Струм через стабілітрон (і, відповідно, через оптопару) при його пробіі призводить до розряду конденсатора С6, падіння напруги на вході LD драйвера нижче 0,15 В і виключенню драйвера. Після виключення драйвера конденсатор С6 заряджається через резистор R3, що призводить до короткочасного включення драйвера. Осцилограма напруги на стоці транзистора VT1 при відсутності на виході ДЖ навантаження показана на рис. 29.



Рис. 29 Осцилограма напруги при відсутності навантаження

Коефіцієнтом потужності називається відношення активної (корисної) потужності до сумарної (активна + реактивна). У резистивного навантаження $KП = 1$, тобто реактивна складова дорівнює 0. Активна потужність повністю споживається навантаженням і виконує корисну роботу. Реактивна ж спершу запасається, а потім знову повертається в мережу. У цій ситуації в мережі течуть більші струми, ніж потрібно було б для даного навантаження. Таким чином, головне завдання ККМ - скоротити величину реактивної складової потужності до мінімуму. Розберемося тепер в передумовах її появи в джерелі живлення.

На рис. 30 показані графіки струму і напруги, які споживає від мережі звичайний навантажений випрямляч з конденсатором значною ємності.

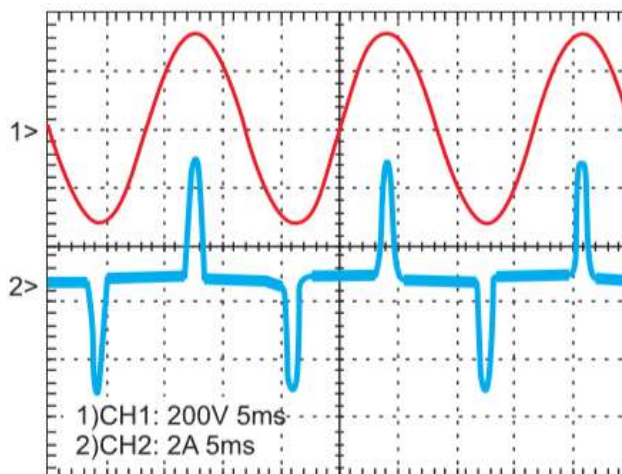


Рис. 30 Графіки струму і напруги, які споживає від мережі звичайний навантажений випрямляч з конденсатором значної ємності.

У такій схемі струм споживається короткими імпульсами в моменти, коли миттєве значення напруги в мережі живлення максимально. У проміжках навантаження живиться напругою, яка запасається в конденсаторі, і напруга на ньому поступово падає. Так відбувається до тих пір, поки миттєве значення напруги не перевищить знову напругу, що залишилася на конденсаторі. У цей момент відкриваються діоди випрямного моста, і відбувається короткий кидок струму підзарядки. Такий режим роботи породжує небажану реактивну потужність, яка, не виконуючи корисної роботи, розігріває мережу живлення.

Так як значення коефіцієнта потужності для світлодіодних світильників потужністю 5-25 Вт має бути не менше 0,7, у схемі використовується пасивний коректор потужності на елементах VD2-4, C3-4, що забезпечує для описуваного джерела коефіцієнт потужності від 0,8 при навантаженні 5 Вт до 0,94 при навантаженні 25 Вт. Напруга на конденсаторі C5 через роботу пасивного коректора має форму, зображену на рис. 31.

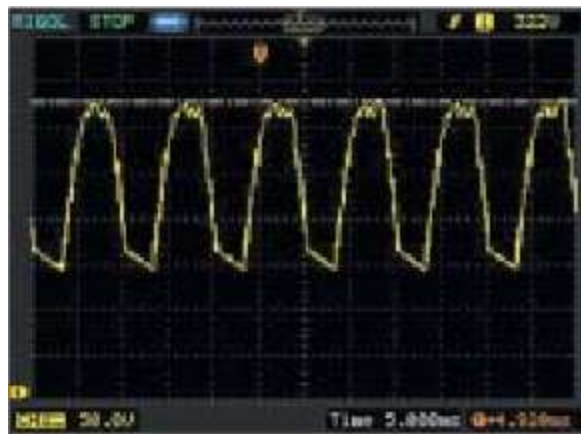


Рис. 31 Напруга, сформована пасивним колектором

Осцилограма напруги на стоці транзистора VT1 при нормальній роботі джерела живлення на навантаження 25 Вт показана на рис. 32.



Рис. 32 Напруга на стоці транзистора

На рис. 32 показаний «розтягнутий» фрагмент осцилограми рис. 6, відповідний лінії А на рис. 6.



Рис. 33 Напруга на стоці транзистора в пік напруги живлення

На рис. 34 показаний «розтягнутий» фрагмент осцилограми рис. 31, відповідний лінії В на рис. 33. Осцилограми на рис. 33 і 34 ілюструють збільшення часу відкритого стану транзистора драйвером при спадах напруги живлення для стабілізації вихідного струму ДЖ.



Рис. 34 Напруга стоку транзистора на спаді напруги живлення

При нульовому опорі резистора R8 оптопара VU1 не реагує на вихідний струм джерела живлення, управління вихідним транзистором здійснюється входом CS. У такому варіанті ДЖ є, по суті, джерелом потужності, значення якої встановлюється резисторами R4-R6. Наприклад, при встановленій резисторами R4-R6 вихідної потужності джерела 10 Вт на його навантаженні, не залежно від

її опору (в широкому діапазоні значень), розсіється потужність 10 Вт (з точністю близько 3%).

Тобто ланцюжок з двадцяти 0,5-Вт світлодіодів або ланцюжок з десяти 1-Вт при підключенні до такого джерела буде нормально функціонувати.

Висновки

Дипломна робота присвячена розробці регульованого блока живлення на основі світлодіодів. Розглянуто типи та схемні реалізації перетворювачів напруги для світлодіодних джерел світла. У схемі використовується пасивний коректор потужності, що забезпечує для описуваного джерела коефіцієнт потужності від 0,8 при навантаженні 5 Вт до 0,94 при навантаженні 25 Вт. Вбудований фільтр електромагнітних сумісності запобігає проникненню шумів як з мережі в блок живлення так і навпаки. Розроблена установка має наступні характеристики: вихідний струм 0,12 А; діапазон вихідних напруг 40-210 В; коефіцієнт пульсацій за струмом (50 Гц) від 0,5% при потужності 25 Вт до 1,1% при потужності 5 Вт; коефіцієнт корисної дії від 70% при потужності 5 Вт до 90% при потужності 25 Вт. Також з метою додаткового продовження ресурсу світлодіодів, в БЖ реалізована функція м'якого включення.

Список використаних джерел

1. Ф. Е. Шуберт. Светодиоды / Ф. Е. Шуберт. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2008. – 496 с.
2. С. М. Зи. Физика полупроводниковых приборов / С. М. Зи. – М.: Мир, 1984. – 456 с.
3. С. Н. Chen. GHz bandwidth GaAs light-emitting diodes / С. Н. Chen, M. Hagris, J. M. Woodall, M. R. Melloch, J. S. Reynolds, E. Yablonovitch, W. Wang. – Appl. Phys. Lett., 77, 1999. – p. 3140.
4. Стив Робертс (Steve Roberts) Идеи некоторых схем, использующих драйверы серии RCD// Полупроводниковая светотехника. 2011. № 1
5. Никифоров С. Г. Проблемы, теория и реальность светодиодов // Компоненты и технологии. 2005. № 5. С. 176–185.
6. Довідник // Світлодіодне освітлення. Принципи роботи, переваги і області застосування.// Автор: Джонатан Вейнерт, ілюстрації: Чарльз Сполдінг.
- 7.С.Робертс.Драйверы RCD для мощных светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5
8. С. Робертс. Драйверы RCD для мощных светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 6
9. Ю.Р. Носов. Оптоэлектроника // Ю.Р.Носов – М: Радио и связь, 1989. – 360 с.
- 10.Maksimović D., Čuk S. Switching Converters with Wide Conversion Range // IEEE Transactions on Power Electronics. Vol.6. 1991. № 1.
11. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005588A.pdf>
12. Абрамов, В.С. «Белые светодиоды» журнал Светодиоды и лазеры 2002, № 2 – С.25-28.
13. Ю.Н.Давиденко, 500 схем для радиолюбителей. Современная схемотехника в освещении 2008г.

14. Вейнерт Д. Светодиодное освещение. М.: Philips, 2010.